Manglar 12 (2): 21-29, 2015
Revista de Investigación Científica
Universidad Nacional de Tumbes, Perú Artículo Original

Influencia de *Eichhornia crassipes* y microorganismos eficientes sobre contaminantes químicos y orgánicos de las aguas residuales de Naranjito, Ecuador

Influence of *Eichhornia crassipes* and efficient microorganisms on chemical and organic pollutants of the wastewater of Naranjito, Ecuador

Freddy Gavilánez Luna

Resumen

Se la realizó la investigación en la planta de tratamiento de agua residual de la ciudad de Naranjito en la provincia del Guayas, Ecuador; durante el mes de octubre del año 2013 y consistió en la evaluación de los efectos depuradores que realizan la especie acuática *Eichhornia crassipes* y microorganismos eficientes; valorándolos a través de contaminantes químicos y orgánicos. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, compuesto de cuatro tratamientos con tres repeticiones, y cada unidad experimental fueron estanques de $1m^3$ de volumen. Los tratamientos evaluados se definieron como: *E. crassipes* (T1); bacterias comerciales (T2); microorganismos nativos (T3), capturadas mediante arroz fermentado; y un testigo absoluto (T4). Con tiempos de retención hidráulica de 7 y 14 días, se evaluaron los contaminantes químicos, tales como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), fósforo total (PT) y pH; y los contaminantes orgánicos como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO). Además, se evaluó la temperatura. *E. crassipes* fue el tratamiento que reportó, en la mayoría de los parámetros, los promedios estadísticos más bajos; realizando remociones del 50.0%, 94.8% y 87.6% de H_2S, la DBO_5 y la DQO, respectivamente.

Palabras clave: Agua residual, carga orgánica, proceso anaerobio, bacterias facultativas, sulfuro de hidrógeno.

Abstract

This research was conducted in the plant wastewater treatment Naranjito city in the province of Guayas, Ecuador; during the month of October 2013 and consisted of evaluation the effects scrubbers performing aquatic species *Eichhornia crassipes* and efficient microorganisms; valuing through of chemical and organic contaminants. It was used a completely randomized experimental design consisting of four treatments with three replications, where each experimental unit were ponds used $1m^3$ volume. The evaluated treatments were defined as: *E. crassipes* (T1); Commercial bacteria (T2); native microorganisms (T3), captured by fermented rice; and an absolute control (T4). With hydraulic retention times of 7 and 14 days were evaluated chemical contaminants such as hydrogen sulfide (H_2S), Total Kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphorus (TP) and pH; and organic pollutants such as biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). Also the temperature was evaluated. *E. crassipes* the treatment was reported, in most parameters, the lowest statistical averages; doing removal of 50.0 %, 94.8 % and 87.6 % of H2S, the BOD5 and COD, respectively.

Keywords: Wastewater, organic load, anaerobic process, facultative bacteria, hydrogen sulfide.

Universidad Agraria del Ecuador, fgavilanez@uagraria.edu.ec

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Introducción

En el Ecuador, las enfermedades diarreicas producidas por la contaminación biológica del agua son la primera causa de mortalidad infantil. La contaminación biológica de las aguas se debe principalmente a la ausencia o insuficiencia de tratamiento de las aguas servidas. Si bien se está ampliando la cobertura de alcantarillado en todo el país, del 66,6% de aguas servidas eliminadas a la red pública en sectores urbanos, apenas 5 % son tratadas. Por esta razón, casi todos los ríos del país cercanos a las áreas urbanas tienen altos niveles de coliformes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno y fósforo (Weemaels, 2009).

El mal manejo de las aguas residuales, provenientes de diversas actividades humanas, constituyen la principal fuente de contaminación de las aguas superficiales. En este sentido, la restricción más importante que tienen, especialmente las poblaciones de escasos recursos económicos, son los elevados costos que involucran los tratamientos de las aguas residuales. Esto hace buscar imperiosamente métodos alternativos que reduzcan los elementos contaminantes a niveles aceptables e inocuos, y qué a la vez, sean económicos y eficientes.

La ciudad de Naranjito es uno de los veinticinco cantones que tiene la provincia del Guayas. Ubicado en la parte sur oriental de la provincia, cuenta con una población aproximada de 37,000 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos 2010). No tiene zona industrial alguna y su desarrollo económico proviene, en una gran parte, de las explotaciones agrícolas (banano, caña de azúcar, cacao, piña, maíz, entre otros); así como de industrias de ciudades vecinas como Marcelino Maridueña y Milagro. La ciudad cuenta parcialmente con un sistema de alcantarillado para aguas residuales domésticas a nivel de la zona urbana, recientemente instalado en año 2010, brindando el servicio a 4200 familias. El método de tratamiento consta de lagunas de oxidación (lagunaje), donde el proceso es básicamente anaerobio. Adicionalmente, las aguas residuales reciben un tratamiento a base de bacterias degradadoras para reducir principalmente los contenidos de materia orgánica (DBO) y algunos otros elementos como grasas y aceites; actividad que en el presupuesto anual que maneja la municipalidad, resulta relativamente oneroso.

Para remover se ha utilizado *E. crassipes,* que ha presentado niveles de extracción de contaminantes en un grado de mayor significancia (Ávila, Castillo, y Zárate 2000, Cuenca y Carrión 2009, Camacho y Ordóñez 2008, García 2012, Jaramillo y Flores 2012).

En la ciudad de Naranjito no existen industrias que puedan ocasionar contaminación con elementos químicos fuertes, como los metales pesados (mercurio, arsénico, plomo, cadmio, etc.) Básicamente las aguas residuales son de uso doméstico en su gran mayoría y, por lo tanto, la contaminación es más de origen orgánico. Aunque la ciudad cuenta con el sistema de lagunaje para el tratamiento de las aguas residuales donde el proceso básicamente es anaerobio; este tipo de tratamiento no es completo, y alguna parte de contaminación biológica es depositada en una fuente de agua superficial aledaña; además, debido a su ubicación aledaña a uno de los barrios de la ciudad, la molestia por los malos olores es un problema recurrente. Asimismo, por la situación económica de la ciudad, el uso de métodos sofisticados de remediación de estas aguas es prácticamente imposible. Esta situación obliga a buscar otras alternativas viables, que ofrezcan resultados aceptables dentro de un marco de conservación del ambiente.

En esta problemática, objetivos fueron: determinar los efectos depuradores de

E. crassipes (jacinto de agua o lechuguín) y de microorganismos eficientes, en las aguas residuales urbanas del cantón Naranjito; evaluados a través de los parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sulfuro de hidrógeno (H_2S), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), fósforo total (PT), pH y temperatura. Todos estos parámetros fueron considerados de acuerdo a la característica del agua residual de la ciudad y a los requerimientos de límites máximos para los efluentes que se descargan a las fuentes superficiales de agua de acuerdo a lo que establece la Legislación Ambiental Ecuatoriana.

El uso de plantas acuáticas para remoción de contaminantes en aguas residuales constituye una alternativa viable, siempre que se ejecute el debido mantenimiento de dichas especies. Asimismo, los sistemas de tratamientos acuáticos son una variante adecuada para la depuración de aguas residuales. En ellos las plantas acuáticas funcionan como filtros biológicos removiendo sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos (Lord, citado por Rodríguez et al. 1996). Por otro lado, el uso de microorganismos nativos o autóctonos de la zona, representan una alternativa potencial y económica, que una vez capturados y reproducidos a través de medios caseros, pueden ser utilizados para la biodegradación de sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Naranjito, entre los meses de setiembre y octubre del 2013; ubicada en las coordenadas UTM: (17M) 0669096 E, 9760410 N y cuya altitud es de 45 msnm.

La investigación fue experimental, cuyo diseño estadistico fue el completamente al azar (DCA), con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo representada por estanques en tierra, de $1m^3$ de capacidad, con revestimiento de polietileno. Los tratamientos valorados fueron: Estanque cubierto de E. Crassipes (T1), bacterias benéficas de tipo comercial (T2), microorganismos eficientes nativos colectados con trampas de arroz fermentado (T3) y un testigo absoluto (sólo lagunaje) (T4). Las dosis de microorganismos utilizados en los dos casos fue de 12 cm^3 por estanque, durante los 14 días de retención hidráulica que duró el experimento.

Los microorganismos comerciales (en polvo) con una densidad de 0,77 g/cm^3 y una concentración de bacterias >0,5 x 10^9 UFC/g. Según la ficha técnica, es un producto diseñado para el tratamiento de aguas residuales y para trabajo de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos y pesticidas. En la preparación de 200 L de solución de microorganismos, según lo recomendado por la casa comercial, se mezclan 1,4 kg del producto con 3,0 kg de melaza.

Los microorganismos nativos fueron colectados con 230 g de arroz cocido que luego fue mezclado con melaza y depositada en una zona boscosa aledaña a las lagunas de oxidación. La mezcla fue sometida a 25 días de fermentación anaeróbica en 4 litros de una solución compuesta de 0,5 L de melaza, 100 g de levadura, 100 cm^3 de salsa de soya, 100 cm^3 de yogurth natural y 0,5 L de leche.

En los dos tratamientos a base de microorganismos, de los volúmenes referidos, se utilizaron 40 cm^3 como dosis para cada unidad experimental, durante una semana, con el propósito de crear biomasa bacteriana. Al término de la semana, cada unidad experimental fue vaciada, tratan

do de no alterar la lámina de agua y dejando sólo ¼ de su capacidad; para nuevamente llenar cada una, dando inicio en ese momento al experimento con un tiempo de retención hidráulica de 14 días. Durante las dos semanas, las dosis de microorganismos para las unidades experimentales a los que correspondía este tratamiento, fue de 12 cm^3 por cada una de ellas.

El muestreo se realizó en función del tiempo, partiendo con una primera muestra al momento de introducir las aguas residuales en los estanques (laguna anaerobia) en condiciones "crudas", al iniciar el experimento. Para la medición de los efectos, se llevó a cabo un primer muestreo a los 7 días de iniciado el experimento, en cada uno de los estanques de todo el ensayo. La segunda recolección de muestras se la realizó a los 14 días de iniciado el experimento.

Las mediciones de pH y la temperatura, por la factibilidad y utilidad de realizar las medidas en el mismo sitio, se tomaron diariamente. Las primeras fueron realizadas con equipos Marca SPER SCIENTIFIC LTDA; y las de temperatura se realizaron con un equipo de la marca AQUATEMP *Waterproof thermometer*. En el caso de los parámetros contaminantes como H_2S, NTK, PT, DBO_5 y DQO, sus determinaciones se realizaron considerando las guías de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al. 2012) Además se realizó la caracterización molecular de microorganismos utilizados (comerciales y nativos), mediante la técnica de secuenciación de ADN.

Los datos fueron procesados con el software Microsoft Excel. La valoración estadística de los datos, para establecer diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó utilizando el análisis de varianza (ANDEVA), corroborando la normalidad de los datos a través del coeficiente de variación (CV <30%) y realizando los respectivos ajustes de varianzas (logarítmicos y$\sqrt{Y}$), para verificar la validez del ANDEVA. La comparación de promedios se realizó a través del test de Duncan, al 5% de probabilidad. El análisis se realizó con la versión estudiantil del software estadístico Infostat. Los análisis de realizaron a un nivel $\alpha = 0,05$

Resultados

Parámetros químicos contaminantes

En la retención hidráulica (RH), a los 7 días aun no existiendo diferencias significativas entre tratamientos, según análisis de varianza de los datos ($p > 0,05$), tanto para NTK ni para PT; el test de Duncan, estableció diferencia entre ellos. Para las dos variables evaluadas, el tratamiento base de bacterias nativas (T3) fue el que presentó los promedios más bajos. (Tabla 1) A los 14 días de RH la situación fue distinta; el análisis estadístico repor

Tabla 1. Promedios de nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y fósforo total (PT) a tiempos de retención hidráulica de 7 y 14 días, clasificados según el test de Duncan (p <0,05).

N°	TRATAMIENTOS	NTK (mg/L)				PT (mg/L)			
		7 días RH		14 días RH		7 días RH		14 días RH	
1	*E. crassipes*	0,60	ab	0,28	b	0,44	ab	0,20	b
2	Bacterias comerciales	1,45	a	2,50	b	0,35	ab	0,53	a
3	Bacterias nativas	0,16	b	1,56	b	0,17	b	0,40	ab
4	Testigo absoluto	0,66	ab	8,66	a	0,52	a	0,49	ab

Las letras son resultados del test de Duncan, letras iguales no difieren estadísticamente.

tó diferencias significativas, tanto para NTK como para PT, donde el tratamiento a base de *E. crassipes* (T1) fue en el que se reportó los más bajos promedios. (Tabla 1)

Parámetros contaminantes: DBO_5 y DQO

La respuesta de los tratamientos analizados respecto de DBO_5 y DQO fue similar a las dos anteriores variables, en cuanto a la diferencia significancia. A los 7 días de RH, el ANDEVA no indicó variabilidad; en tanto que a los 14 días si estableció diferencias. Las mediciones realizadas a los dos tiempos de RH permitieron definir al tratamiento a base de *E. crassipes* (T1), como el de menor promedio; detectándose, asimismo, los promedios más altos en el tratamiento a base de bacterias nativas (T3), como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Promedios de la DBO_5 y la DQO a tiempos de retención hidráulica de 7 y 14 días, clasificados según el test de Duncan ($p < 0,05$).

N°	TRATAMIENTOS	DBO_5 (mg/L)				DQO (mg/L)			
		7 días RH		14 días RH		7 días RH		14 días RH	
1	*E. crassipes*	39,7	b	3,0	c	65,0	b	9,3	b
2	Bacterias comerciales	62,7	ab	9,3	b	92,3	ab	19,3	b
3	Bacterias nativas	105,7	a	35,0	a	187,0	a	146,7	a
4	Testigo absoluto	50,3	b	7,3	bc	92,3	ab	19,0	b

Las letras son resultados del test de Duncan, letras iguales no difieren estadísticamente.

Parámetro contaminante sulfuro de hidrógeno

En la evaluación de H_2S, a los 7 y a los 14 días de RH, se evidenció diferencia significativa entre los tratamientos (p >0,05). En los dos tiempos de evaluación, el tratamiento que se presentó con los menores promedios fue el T1 (*E. crassipes*); contrariamente las bacterias nativas (T3), reportaron los valores más altos de este contaminante. En el caso de la temperatura no se pudo detectar variabilidad estadística; mientras que en el pH si hubo diferencia, estableciéndose como los valores más altos alrededor de 7,5 para los tratamientos T2 (bacterias comerciales) y T4 (Testigo absoluto), y como promedio más bajo para el tratamiento T1 (*E. crassipes*), con valor de 6,8 (Tabla 3). Para estos parámetros, la temperatura y el pH son promedios de los 14 días de duración del experimento.

Tabla 3. Promedios de la H_2S a tiempos de retención hidráulica de 7 y 14 días, de la temperatura y pH, clasificados según el test de Duncan ($p < 0,05$).

N°	TRATAMIENTOS	H_2S (mg/L)				Temperatura* (°C)		pH*	
		7 días RH		14 días RH					
1	*E. crassipes*	0,012	b	0,006	b	25,3	a	6,8	b
2	Bacterias comerciales	0,056	b	0,035	b	26,5	a	7,5	a
3	Bacterias nativas	0,312	a	0,177	a	26,3	a	7,1	ab
4	Testigo absoluto	0,037	b	0,017	b	25,5	a	7,4	a

Las letras son resultados del test de Duncan, letras iguales no difieren estadísticamente
*Promedios de los 14 días de RH.

Remoción/incremento de parámetros contaminantes

Para los cinco parámetros de contaminación que se evaluaron, los tratamientos estudiados presentaron distintos niveles de remoción; así como, en algunos casos, ocurrió lo contrario, reportándose más bien un incremento del contaminante (Tabla 4). El único tratamiento que sólo reportó remoción fue el T1 (*E. crassipes*), además de ser el que en mayor proporción disminuyó las concentraciones de dichos parámetros a diferencia del resto. Asimismo, fue el único tratamiento que no reportó incremento de los contaminantes H_2S y NTK durante los 14 días de retención hidráulica del agua residual.

Tabla 4. Niveles de remoción/incremento (%) de los parámetros contaminantes evaluados a los 14 días de retención hidráulica.

Parámetros	Niveles Iniciales	T1 (*E. crassipes*)	T2 (Bacterias comerciales)	T3 (Bacterias nativas)	T4 (Testigo absoluto)
H_2S (mg/l)	0,012	50,0%	194,2%*	1372,5%*	41,7%*
DBO_5 (mg/l)	58,0	94,8%	84,0%	39,7%	87,4%
DQO (mg/l)	75,0	87,6%	74,3%	95,6%*	74,7%
NTK (mg/l)	0,41	31,7%	509,8%*	280,5%*	2012,2%*
P - total (mg/l)	0,98	79,6%	45,9%	59,2%	50,0%

*Incremento.

Discusión

De acuerdo a los niveles de los contaminantes evaluados en el agua residual obtenidos en el momento inicial del experimento, permiten definirla como de concentración débil (Félez, 2009), que incluso no presentaron valores más allá de los permitidos en el anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA 2015); aun considerando que el tiempo en el que se realizó el estudio fue en la época seca, en el cual se estima que la concentración es menos diluida respecto de la época lluviosa. Asimismo, por el componente orgánico definido a través de la relación DBO_5/DQO, puede decirse que esta agua residual es muy biodegradable (>0,4), según la clasificación dada por la Alianza por el Agua (2008).

La remoción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, por parte de *E. crassipes*, tiene cierta relación con el tiempo de tención hidráulica del agua residual. Esto es lo que se evidenció en los resultados, en donde pudo notarse como el nitrógeno tiene su mayor reducción a los 14 días de retención hidráulica; logrando durante este tiempo, remover aproximadamente un 32 % del nitrógeno inicial. Esto también se cumple para el fósforo, el cual a los 7 días la especie removió un 55% del elemento inicial; mientras que, a los 14 días, la remoción fue prácticamente del 80% (tabla 4) Bajo estos resultados y amparado en las diferencias significativas encontradas, se puede mencionar que, con el uso de plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales, es posible la remoción de los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (García 2012).

La verificación del efecto depurador de *E. crassipes* en reducciones significativas de DBO_5 y de DQO, es más notorio con un tiempo de retención hidráulico relativamente mayor. Es así como a los 7 días, los efectos de la especie acuática no reportan significancia respecto de los otros tratamientos estudiados ($p > 0,05$) pero a los 14 días, los resultados

de reducción de este componente referencial orgánico son estadísticamente diferentes, estableciéndose que el trata miento a base de *E. crassipes* es el de me nor contenido, tanto de la DBO_5 y de la DQO. Bajo esta concepción, se comparte lo referido por Martelo y Lara (2012), quienes dicen que el uso del jacinto de agua en el tratamiento de aguas residua les, permiten reducciones de hasta el 95,0% de la DBO_5 y hasta de un 90,2% en el caso de la DQO.

Las reacciones bioquímicas dentro del proceso de autodepuración que realizan las aguas residuales son fenómenos simi lares a los que ocurren en las fuentes na turales de agua superficial (Félez 2009), esto se evidencia con los resultados obte nidos en el tratamiento testigo. Dejar el agua estancada con un tiempo de reten ción hidráulica de 14 días, en condiciones mayoritarias de anaerobiosis, han permi tido realizar remociones de DBO_5 y de DQO de 87,4 % y 74,7 %, respectivamente. Resultado que, aparte de las reacciones bioquímicas, encuentran un respaldo en el efecto de la decantación de los materia les en suspensión que existen en estas aguas; los que al caer arrastran una cierta cantidad de bacterias produciendo una reducción de la DBO y cierta depuración bilógica del agua (Acosta 2005).

Las reducciones de las cargas orgánicas, medidas a través de las variables DBO_5 y DQO, de acuerdo a los resultados obte nidos, son producidas por el mismo pro ceso natural del lagunaje; en la cual el agua se libera sola de dichos contaminantes (González, Bécares, y Luis 2001). En este sentido, el uso de bacterias adi cionales no aporta absolutamente nada en cuanto a la remediación y la remoción realizada por *E. crassipes* apenas se dife rencia de la magnitud de remoción que sucede en el lagunaje natural.

El H_2S que se genera en el proceso anae robio de las aguas residuales que se tra tan mediante lagunaje, es el principal con taminante en cuanto al mal olor que es tas aguas producen durante el proceso (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York 2012); este gas se produ ce por la reducción, vía anaerobia, de los sulfatos presentes en dichas aguas residuales (Alianza por el Agua 2008). De allí, que *E. crassipes*, dada su magni tud de remoción de H_2S (50%), pueda utilizarse como una alternativa de trata miento complementario en las plantas de tratamiento de aguas residuales que no usan energía artificial, en el sentido de que pueda contrarrestar las molestias por el mal olor que este tipo de tra tamiento genera.

La molestia del mal olor, según España (2006), es controlado por *E. crassipes* debido a que la materia orgánica degra dable presente en el agua, ya sea soluble o insoluble, se elimina por los microor ganismos que viven adheridos al sistema radicular de la planta y que reciben el oxígeno a través de un sistema de aire ación muy especializado; por lo tanto, la descomposición aeróbica tiende a ser más rápida y completa que la anaerobia y por consiguiente, se consiguen evitar los problemas de olores asociados a los procesos de descomposición anaerobia.

El propio complejo de microorganismos, especialmente las bacterias anaerobias, característico de las aguas residuales, realizan la depuración de los contaminantes orgánicos del agua, siempre que tengan las condiciones de temperatura entre los 20°C y los 40°C (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York 2012), lo cual se cumplió para el actual estudio. Esto es notorio en los resultados obtenidos para los parámetros relacionados como DBO_5 y la DQO; en los que no se lograron diferencias importantes respecto del testigo. Bajo esta perspec tiva es importante lo que publica el Se cretariado Alianza por el Agua (2008), cuando declara que las bacterias son las principales responsables de la minera

lización de la materia orgánica en los sistemas de depuración por lagunaje, siendo las más abundantes las quimioheterótrofas formadoras de ácidos y de metano. Esta situación también explica los resultados de la caracterización realizada a las bacterias que se utilizaron como tratamientos, en donde se identificaron en presencia mayoritaria, bacterias del género *Bacillus* y *Lactobacillus*; las cuales poco o nada aportaron en cuanto a una mayor depuración del agua residual respecto del testigo.

Conclusiones

Por la magnitud de la concentración de los contaminantes de medición orgánica: DBO_5 y DQO, aun sin tratamiento alguno, las aguas cumplen con la norma de calidad ambiental para la descarga de efluentes a los cauces naturales. Sin embargo, *E. crassipes* fue la alternativa que relativamente presentó la mayor remoción, especialmente con un tiempo de retención hidráulica de 14 días.

En ninguno de los contaminantes químicos evaluados (nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total, sulfuro de hidrógeno y pH), sus niveles en el agua residual fresca rebasaron el límite máximo permitido por el TULSMA, para la descarga de efluentes. A pesar de ello, en este caso también *E. crassipes* fue el tratamiento que pudo remover: nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total y sulfuro de hidrógeno, con una mayor intensidad que las otras alternativas evaluadas; mientras que en pH, todos los tratamientos se mantuvieron dentro de los niveles legalmente permitidos, situación que también sucedió con la temperatura.

La aplicación adicional de microorganismos, no mejoran el proceso de degradación de los contaminantes estudiados, ya que las aguas tienen su propia carga microbiana que realiza esta función; no obstante, para sistemas de lagunaje debido a la emisión del gas sulfhídrico producto del proceso anaerobio, no podrían evitarse el problema de los malos olores.

Referencias

Acosta, F. 2005. *Desodorización de las emisiones de una estación depuradora de aguas residuales mediante absorción química.* Proyecto de fin de carrera, Universidad de Cádiz, España. http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/6457/29984543.pdf?sequence=1

Alianza por el Agua. 2008. *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Monográficos Agua en Centroamérica (3). España: Ideasamares. http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf

Ávila J., D. Castillo, y W. Zárate. 2000. "Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), alternativa para el tratamiento de agua dulce en producción acuícola" Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador.

Camacho J., y L. Ordóñez. 2008. "Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes*, para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo de pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga". Tesis de grado. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

Cuenca L., y N. Carrión N. 2009. "Bioensayo con macrófitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay". Tesis de grado, Universidad del Azuay, Ecuador. Recuperado de: http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2982

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2012. *Manual de tratamiento de aguas negras*. México: Editorial LIMUSA.

España, J. 2006. *Estanques de Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para tratamiento de residuos industriales. Universidad del Valle. Santiago del Valle*. http://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanques-de-jacinto2.shtml

Félez, M. 2009. *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos*. Universitat Politècnica de Catalunya - Departament d'Enginyeria Química, Barcelona. http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03_Mem%c3%b2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y

García, Z. 2012. "Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas". Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

González J., E. Bécares y E. Luis. 2001. "Limnología de sistemas experimentales de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales". *Limnética* 20(2):267-277. http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne20/

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2010. *Resultados del Censo 2010 de Población y Vivienda en el Ecuador: Provincia del Guayas*. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/

Jaramillo M., y E. Flores. 2012. "Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eicchornia carssipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera". Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Rodríguez C., M. Díaz, L. Guerra L. y J. Hernández. 1996. "Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales". Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México. http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01280e08.pdf

Martelo J., y Lara J. (2012). "Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte". *Ingeniería y Ciencia*, 8(15):221-243

Rice, E.W., R.B. Baird, A.D. Eaton and L.S. Clesceri. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd Ed. Edited by American Public Health Association, American Water Works Association. Water Environment Federation. Washington: American Public Health Association

Ministerio de Ambiente. 2015. *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente* (TULSMA). http://www.ambiente.gob.ec/biblioteca/

Weemaels, N. 2009. *Uso y Aprovechamiento del agua: Situación Nacional y Propuesta. Propuesta dirigida a la Asamblea Nacional para el Proyecto de ley orgánica de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua*. http://www.sindicatosporelagua.org/documentos/Ecuador/leyes/Usos_y_aprovechamientos_del_agua_NWeemaels.pdf